

Título del trabajo/
Title of paper

Utilización del GPS en el inventario de las infraestructuras de alumbrado

Autor/ es/
Author/s

M^a Esther Pascual Albarracín¹⁾
Francisco J Bugallo Siegel¹⁾
Carlos A. Lozano Arribas²⁾

Afiliación/ es del autor/ es/
Affiliation/s of the author/s

Universidad Politécnica de Madrid
Dpto. de Infraestructura, Sistemas Aeroespaciales y Aeropuertos

Dirección principal/
Mail address

¹⁾Escuela Técnica Superior de Ingenieros Aeronáuticos
Pl. del Cardenal Cisneros 3
28040. Madrid

²⁾Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Aeronáutica
Pl. del Cardenal Cisneros 5
28040. Madrid

Teléfono, fax. e-mail de la persona de contacto/
Phone, Fax number and e-mail adress of the contact person

Teléfonos:
¹⁾ 91-336-63-14 / 15
²⁾ 91-336-74-98
Fax: 91-336-63-21
esther.pascual@upm.es
f.bugallo@upm.es
carlosalfonso.lozano@upm.es

1.- INTRODUCCIÓN

En el Symposium del año pasado tratamos la creación de mapas de iluminación en plataformas de estacionamiento de aeronaves mediante el empleo de equipos GPS que admitieran correcciones instantáneas vía redes RTK. Estos equipos no cuentan con mapas o cartografía instalada, pero son los más precisos, aunque también los más caros, del mercado.

Allí se nos consultó en distintas ocasiones sobre la posible aplicación de las técnicas de posicionamiento global con objetivos distintos del que habíamos propuesto. La inquietud básica solía centrarse en si la precisión que se puede obtener con equipos GPS incorporados a móviles o PDAs es suficiente para otras aplicaciones en alumbrado. Aparentemente, la precisión de estos navegadores “domésticos” es bastante aceptable, como todos hemos podido comprobar alguna vez yendo en coche. La idea que más se repetía era la creación de un registro que incluyera la identificación individual de luminarias y equipos eléctricos asociados de un parque de alumbrado mediante las coordenadas obtenidas por GPS, que además permitiera su inclusión en cartografías digitales tipo Google Earth o Google Maps, muy populares y de fácil acceso.

Para responder con datos y confirmar nuestras sospechas, hemos seleccionado distintos equipos que cubren las posibles gamas de interés. Como representantes de los navegadores “domésticos” escogimos un teléfono móvil, un GPS Bluetooth para PDA y dos navegadores de coche. Como equipo frontera entre “doméstico” y profesional, empleamos un navegador compatible con EGNOS. Hemos decidido no dejar participar a los equipos de gama alta tipo RTK ya que, aunque su precisión es tentadora, su precio los excluye para emplearlos ex profeso en este tipo de aplicación.

Después de decidir los equipos de prueba, escogimos varios grupos de farolas adyacentes en tres zonas cercanas de Madrid: una zona ajardinada, una avenida y varias calles que se distinguen, básicamente, por la dimensión de la franja de cielo a la que se tiene acceso.

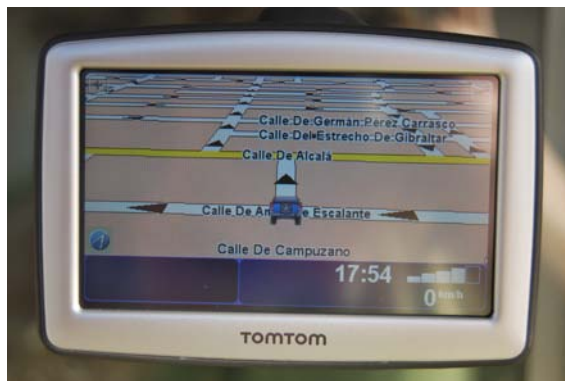
Definimos una metodología de trabajo que permitiera la comparación de los resultados obtenidos y que incluyera la planificación del momento de la toma de datos en función de la configuración de satélites prevista y el procedimiento de toma de datos (situación del GPS respecto a la luminaria, distintas formas de adquisición de datos etc).

Por último hemos analizado y comentado los resultados obtenidos con los distintos equipos.

2. EQUIPOS EMPLEADOS

TomTom XL

Este GPS es uno de los navegadores de coche más vendidos estas últimas Navidades. Tiene una pantalla táctil suficientemente grande para que su uso sea cómodo y para que se vea bien. El modelo que incluye los mapas de carreteras de Europa ronda los 250€.



Este equipo facilita coordenadas geodésicas (latitud y longitud del lugar). El sistema de referencia empleado es el WGS84, que es el estándar recomendado. Otra característica interesante es que permite mostrar los satélites de los que está recibiendo datos.

El software de este equipo muestra las coordenadas hasta la milésima de minuto, tanto en latitud como en longitud. Es decir, el formato de presentación de datos tiene la forma:

Latitud: XX° XX.XXX'
Longitud: YY° YY.YYY'

Si consideramos dos puntos sobre la superficie terrestre cuyas coordenadas se diferencien en 0.001' en latitud y otro tanto en longitud, la distancia entre ambos es de unos dos metros y medio. En primera aproximación, podemos considerar que ésta será la mejor precisión que podremos esperar usando este equipo, aunque desconocemos si la precisión con la que trabaja internamente es mayor.

Supratech Ulises

Otro navegador de coche, esta vez de gama económica ya que su precio es de unos 150€. Su pantalla es más pequeña y la base cartográfica es distinta de la del TomTom. Su uso es fácil e intuitivo. Se muestra superpuesta a la cartografía la hora, la altitud, las coordenadas del lugar y el número de satélites que se reciben en cada momento.

Al igual que el navegador anterior, facilita coordenadas geodésicas en el sistema de referencia WGS84. Tampoco se



tienen datos facilitados por el fabricante sobre la precisión, excepto la unidad mínima de presentación de datos. Presenta las coordenadas en grados, minutos y segundos, tanto en latitud como en longitud. Es decir, el formato de presentación de datos tiene la forma:

Latitud: XX° XX' XX"
Longitud: YY° YY' YY"

Si consideramos dos puntos sobre la superficie terrestre cuyas coordenadas se diferencien en 1" tanto en latitud como en longitud, la distancia entre ambos ronda los cuarenta metros. Las consideraciones hechas en el caso del TomTom siguen siendo válidas para este equipo.

Nokia N95

Hemos escogido este teléfono móvil con GPS incorporado por ser una de las estrellas del mercado. No se cuenta con datos fiables sobre el GPS incorporado. Se cree que es un Texas Instrument NaviLink™ 4.0 GPS5300, que cuenta con 5 canales y emplea el protocolo NMEA 0183.

Su precio oscila desde los 150€ si se firma con cualquier compañía un contrato de permanencia hasta los 400€ que puede costar si se adquiere libre.

En este caso no se puede considerar la unidad de presentación de datos como una posible medida de la precisión. El software que se emplea en estos móviles lo escoge el usuario, no como ocurre con los navegadores anteriores, que viene preinstalado y no es modificable. La presentación de las coordenadas depende tan solo del programa usado.



El software "Marcas" para GPS viene incluido en el teléfono y permite guardar las coordenadas de un lugar. Su formato de presentación es en grados con cuatro decimales:

Latitud: XX.XXXX°
Longitud: YY.YYYY°

Si consideramos dos puntos sobre la superficie terrestre cuyas coordenadas se diferencien en 0.0001° en latitud y en longitud, la distancia entre ambos es de unos quince metros. Pero, como hemos indicado, no parece una estimación fiable de la posible precisión, aunque es un valor razonable.

Sirf III

El chip de este GPS es un clásico entre los equipos que se comunican vía bluetooth con PDAs o PCs.

Actualmente, existen modelos de chipset SirfStar que incorporan EGNOS, aunque el empleado para realizar las mediciones es un modelo antiguo que no admite WAAS y que costó en su momento algo menos de 100€.

Este aparato emplea tanto el protocolo NMEA 0183 como SIRF. El sistema de referencia también es WGS84. La adquisición de datos se debe hacer con software escogido por el usuario. Nosotros hemos empleado en la captura una PDA Hacer n300 con OziExplorerCE Beta Version 1.11.13.



El fabricante no facilita la precisión del aparato y tampoco viene acompañado de ningún tipo de software que pueda darnos una pista. Comenzaremos pensando en que la precisión puede rondar los treinta metros, que es la estándar si no se emplean métodos diferenciales.

Garmin GPSmap 276C

Este Garmin es un receptor GPS que admite correcciones diferenciales vía EGNOS. Su precio ronda los 600€.

Según el fabricante, la precisión del GPS es menor de 15m, con una confianza del 95% y en caso de usar EGNOS llega a los 3m. Estas precisiones son planimétricas, es decir, latitud y longitud. A priori, sería el equipo de elección para el trabajo que queremos realizar.



La salida de este equipo da la latitud y longitud, en grados y minutos, con tres cifras decimales en los minutos. Como hemos visto en el GPS TomTom, equivale a un error de dos metros y medio. Es coherente con la precisión máxima de 3m que se puede obtener.

3. PARÁMETROS DE FIABILIDAD. FUENTES DE ERROR

Hay cuatro parámetros que nos sirven para medir la fiabilidad de un sistema. La **precisión**, que podemos definirla como la diferencia entre la posición real y la posición estimada. La **disponibilidad**, que es el porcentaje de tiempo que el servicio se encuentra disponible, teniendo en cuenta todas las interrupciones (planeadas o no). La **integridad**, que es la habilidad del sistema para avisar de que no debe ser utilizado. Suele medirse como el tiempo transcurrido entre el momento en el que ocurre un fallo y el momento en el que se notifica al usuario y, finalmente, la **continuidad**, que está relacionada con la ausencia de interrupciones no programadas y que puede definirse como el porcentaje de tiempo en el que el servicio no se encuentra en una interrupción no programada.

Directamente relacionados con la precisión, están los errores en la medición. La señal emitida por los satélites debe atravesar la **ionosfera** con sus partículas cargadas y la **troposfera** con su vapor de agua. Ambas capas modifican la velocidad de transmisión de la señal, que se emplea para calcular la posición. Las desviaciones en el **reloj** del satélite o en el del receptor influyen en la medida del tiempo, que también es necesaria para el cálculo. Cabe añadir el efecto **multisenda**: la señal se refleja en los obstáculos con lo que tarda más en llegar al receptor y provoca errores de posicionamiento. Además, también influye la **geometría** de los satélites visibles en el lugar y momento de la observación, como se verá en el siguiente apartado (DOP).

4. PRIMERA PRUEBA: LA AZOTEA

Como primer filtro que nos permitiera evaluar los equipos anteriores escogimos un entorno relativamente controlado: la azotea de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Aeronáuticos.

Esta ubicación cuenta con dos ventajas. En primer lugar, es un lugar completamente abierto, sin obstáculos de ningún tipo que puedan bloquear la señal de los satélites por encima de una altura de unos cinco grados. En segundo lugar, se cuenta con un hito topográfico que aparece claramente ubicado en las cartografías fotográficas que se van a manejar. El lugar escogido, sin embargo, tiene un problema. Como veremos más adelante, un tejado no es un buen sitio para tomar una referencia si se van a emplear ortofotos. Sin embargo, de momento, podemos obviar este inconveniente ya que las conclusiones que obtendremos en esta primera prueba no requieren afinar hasta ese punto.

Medimos la posición del hito simultáneamente con los cinco equipos entre las 17:28 y las 18:07. En aquellos que lo permitían (Nokia, Sif y Garmin) se recogieron lecturas de forma automática cada 30 segundos o cada minuto con el fin de obtener un valor medio. Los dos navegadores de coche no permiten ese tipo de registro y se les vigiló para ver si cambiaban el valor de las coordenadas, cosa que no sucedió. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

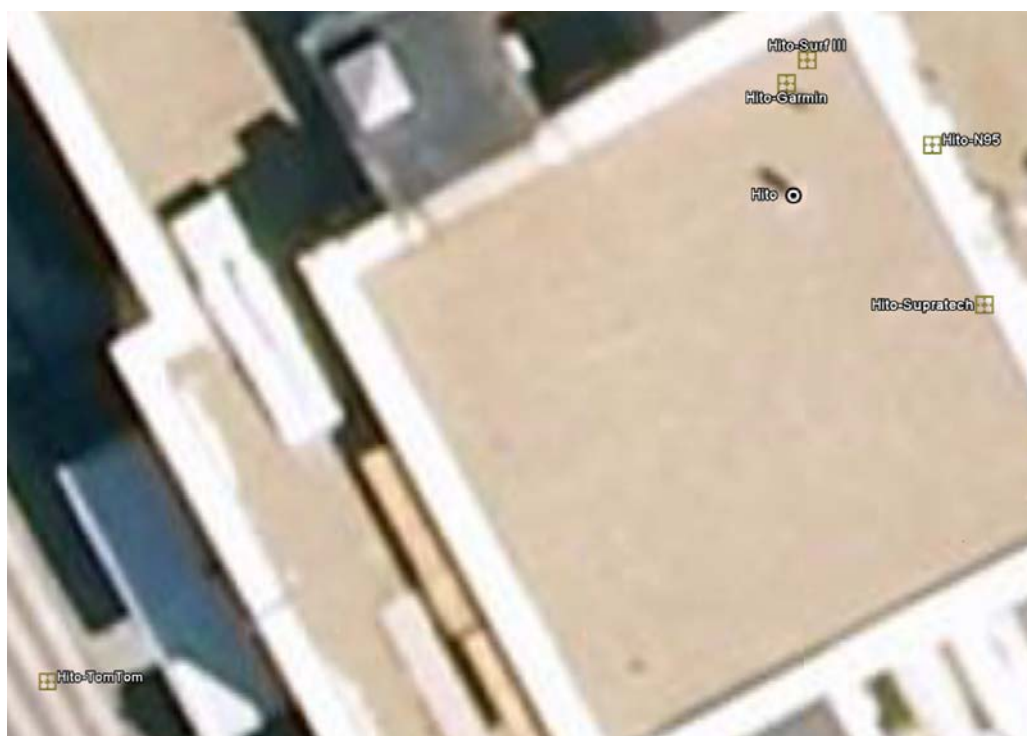
Equipo	Latitud (N)	Desv. típica	Longitud (W)	Desv. típica	Dist.
Hito	40° 26' 26,09"	-	3° 43' 30,19"	-	0m
TomTom	40° 26' 25.68"	-	3° 43' 31.02"	-	23.3m
Supratech	40° 26' 26.00"	-	3° 43' 30.00"	-	5.4m
Nokia	40° 26' 26.13"	0.13"	3° 43' 30.06"	0.07"	3.4m
Sirf	40° 26' 26.20"	0.04"	3° 43' 30.19"	0.07"	3.2m
Garmin	40° 26' 26.18"	0.04"	3° 43' 30.21"	0.16"	2.7m

La última columna es la distancia del hito a su posición media obtenida con cada equipo:

TomTom	Supratech	Nokia	Sirf	Garmin
23.3m	5.4m	3.4m	3.2m	2.7m

Resultan llamativos dos detalles:

- El Supratech, el Nokia y el Sirf dan resultados realmente buenos, muy cercanos al obtenido con el Garmin que ronda su máxima precisión.
- El GPS TomTom da un resultado pésimo, sobre todo al compararlo con los anteriores.

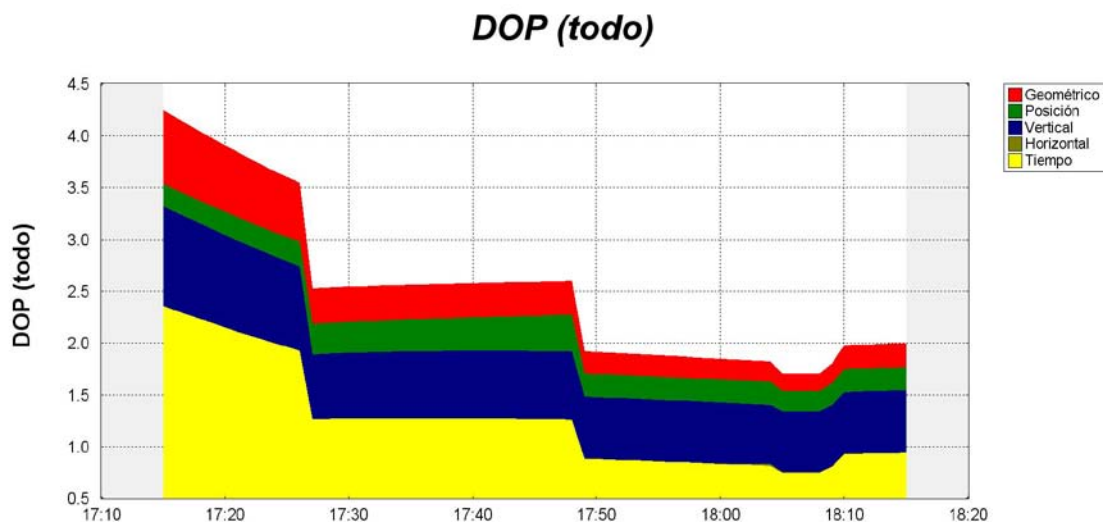


Ambas cosas tienen, en este caso, una explicación.

En primer lugar, se tomaron medidas durante media hora, con lo que las posibles desviaciones momentáneas que pudieron sufrir los equipos se diluyen en el resto de las lecturas.

Además, la hora en que se realizaron las medidas era excepcionalmente buena. Existe un parámetro denominado DOP (Dilution of Precision). Cuanto mayor sea este parámetro, peor será la precisión que se pueda obtener en las medidas. El DOP geométrico tiene en cuenta las variables espaciales y temporales, así que es el que interesa tener en cuenta. En él influye el número de satélites a la vista y su distribución espacial respecto a la posición donde se realiza la medida. Es mejor que los satélites estén separados unos de otros y lo más elevados posible. Los obstáculos aumentan el DOP.

Teniendo en cuenta que la azotea carecía de obstáculos, el DOP se encontró en todo momento por debajo de 3 mientras realizamos las mediciones. Se consideran buenos valores, que permiten tomar decisiones, los valores de DOP inferiores a 4. Para la obtención de este gráfico temporal no se han tenido en cuenta los satélites que se encontraran a una altura inferior a 15°:



Estación Moncloa Norte 40° 26' Oeste 3° 43' Altitud 675m Límite de elevación 15° Obstáculos 0%
Satélites 31 GPS 31 Ialmanac.alm (12/03/2009)

Tiempo 12/03/2009 17:15 - 12/03/2009 18:15 (UTC+1.0h)

Tampoco se debe descartar que se haya tenido suerte en la medición. Concretamente, es especialmente sospechosa la realizada con el Supratech. Como hemos visto, la lectura obtenida es especialmente buena. Y, sin embargo, el equipo no proporciona una precisión más allá del segundo en cualquiera de las dos coordenadas. Y eso equivale a que la posición real está dentro de un círculo de un radio de 40m alrededor de la medida realizada. En este caso, el hito está a tan solo 5.4m de la posición medida, pero es algo impredecible. Retiraremos este equipo para el resto de las mediciones, ya que una incertidumbre de 40m no es aceptable.

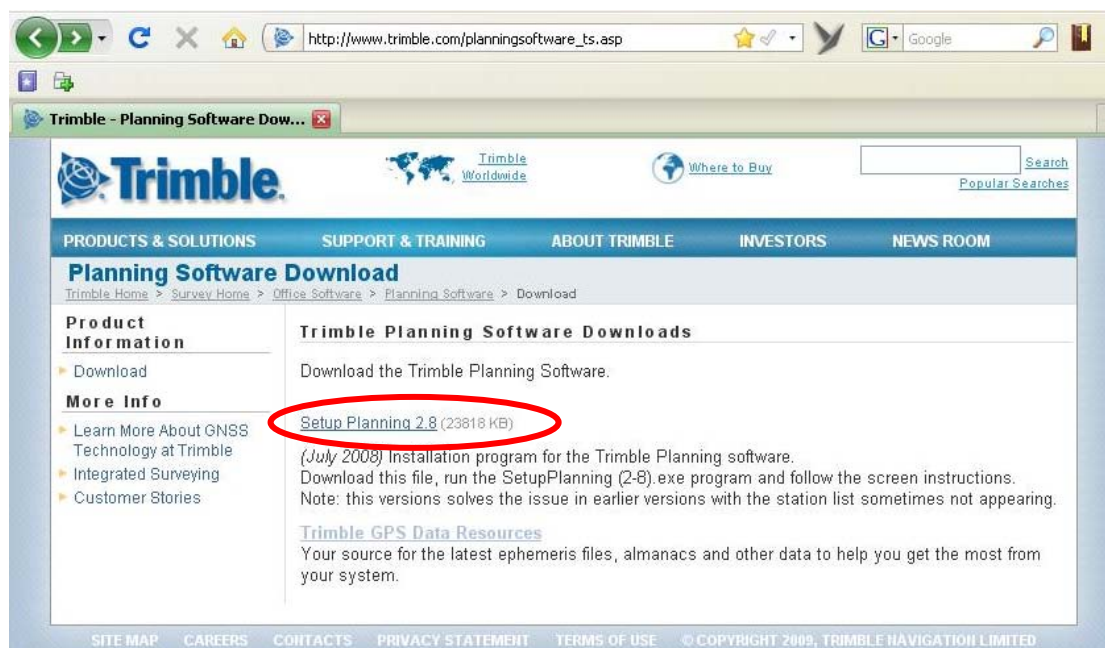
El mal resultado del navegador TomTom también tiene una explicación. Los navegadores de esta marca se apoyan en la cartografía que tienen implementada para afinar la posición. Si alguna vez han circulado con uno de estos equipos en una rotonda que no estuviera en los mapas de su TomTom, habrán visto como su coche hacía en pantalla un trompo sin salirse de la carretera. El software asume que el GPS no está en un edificio ni se sale de las carreteras, de forma que lo sitúa en la calle/carretera más cercana a la posición obtenida matemáticamente de los satélites. La idea funciona bien cuando se está circulando, pero no si estamos en una azotea, como es el caso. Se puede apreciar en la siguiente imagen de Google Earth, que el GPS TomTom nos ha situado justo en la puerta del edificio, el punto de la calle razonablemente más cercano al hito.

Resumiendo:

- Antes de realizar mediciones, debemos saber si los valores de DOP son aceptables. Es necesaria una planificación que asegure las mejores condiciones de medida.
- La obtención de una buena o mala medida no es concluyente sin un análisis posterior. El GPS Supratech no es un equipo válido a pesar del resultado. Y el navegador TomTom aún no ha demostrado que no sirva para el objetivo que nos hemos propuesto. Al fin y al cabo, las farolas están en la calle y, a priori, puede ser interesante la corrección que realizan por software.


5. LA PLANIFICACIÓN

Existen distintas aplicaciones que permiten planificar la toma de datos de una forma adecuada. Hemos escogido el software *Planning* de Trimble [1], que es gratuito y permite actualizar su almanaque. Se puede descargar de la página oficial de Trimble.



En el enlace inferior “*Trimble GPS Data Resources*” se accede a la página de la que se puede bajar el almanaque actualizado para realizar la planificación:



Ejecutemos el programa y pinchemos en “*Almanaque*” → “*Cargar*”. Escogemos el archivo `almanac.alm` que acabamos de bajar. Ahora hagamos click en “*Estación*” , para poder configurar los detalles:

Editor de estación

Nombre de la estación:

Posición:

Latitud: N 40° 26'

Longitud: 0° 3' 43'

Altitud: 675 [m]

Límite de elevac.: 10 °

Tiempo:

Fecha de inicio: 15/03/2009

Tiempo de inicio: 10:30

Duración: 1 [h]

Intervalo: 1 [min.]

Zona horaria:

(GMT+01:00) Bruselas, Copenhagen, Madrid, París

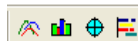
Diferencia UTC: 1.0 [h]

Botones: Aceptar, Cancelar, Aplicar, Borrar, Obstáculos..., Mapa..., Ciudad..., Hoy, Zona horaria...

Por último, hagamos click en “*Obstáculos*”. Podemos dibujar con el ratón o, para una mayor exactitud, cargar un archivo que contenga los obstáculos. El formato de ese archivo es muy sencillo: un archivo `txt` con dos columnas de datos, separados por un espacio. La primera es el azimuth de grado en grado medido desde el norte (0, 1, 2... 358, 359) y la segunda la elevación en grados correspondiente al obstáculo para cada valor del azimuth. No es necesario especificar obstáculos que estén por debajo del indicado como *límite de elevación*, ya que no se tienen en cuenta los satélites que estén por debajo.

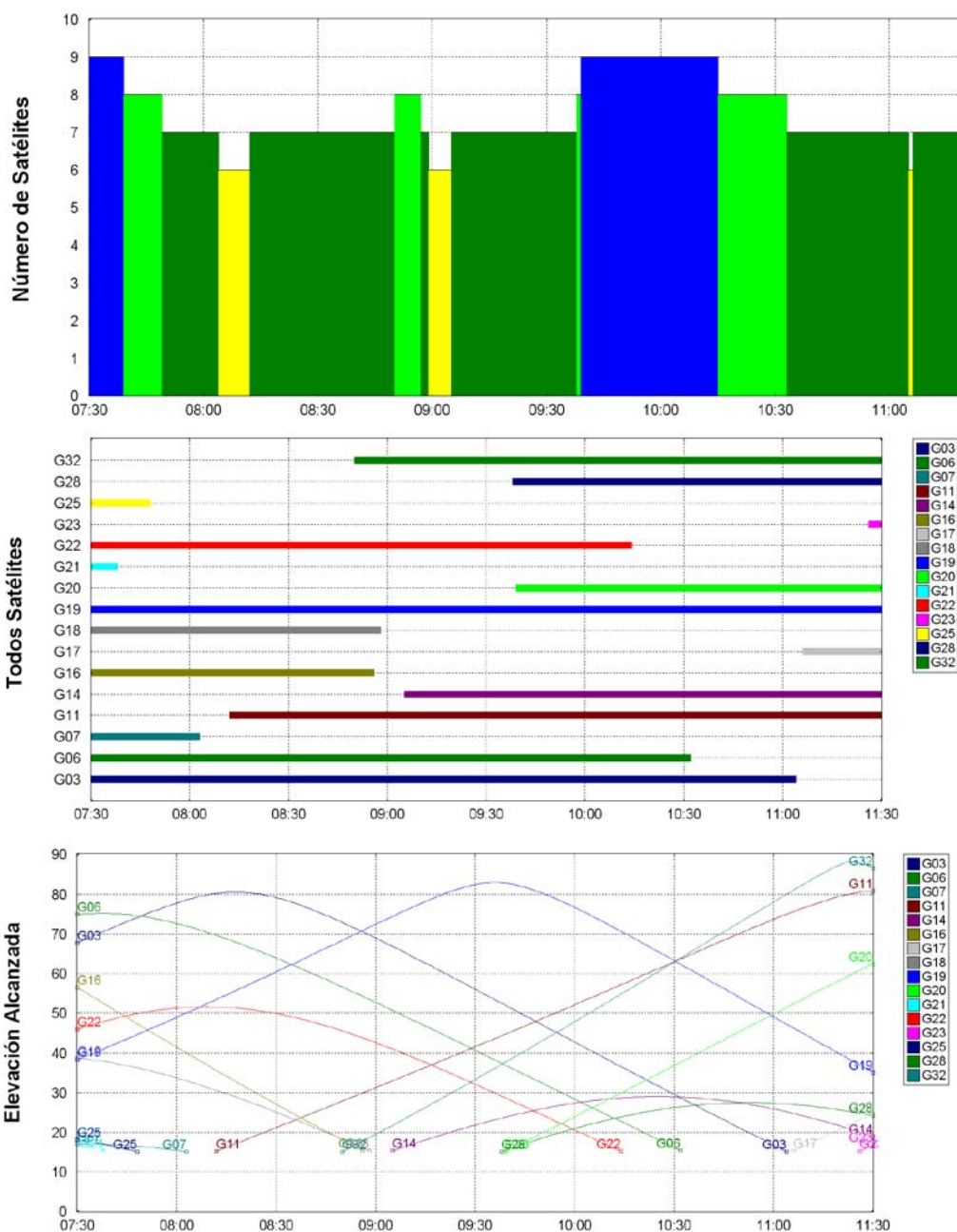
Con esos datos y marcando/desmarcando qué satélites recibe nuestro receptor (GPS, GLONASS, GALILEO, EGNOS), el programa nos facilita los resultados siguientes en gráficos (tal y como los mostramos aquí) o en tablas de datos.

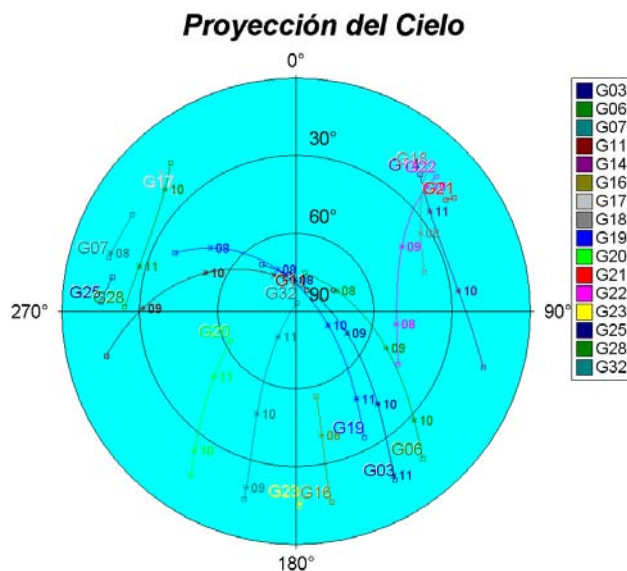
Satélites visibles durante el periodo de observación



Obtendremos cuántos y cuáles son visibles y a qué altura se encuentran a lo largo del periodo introducido.

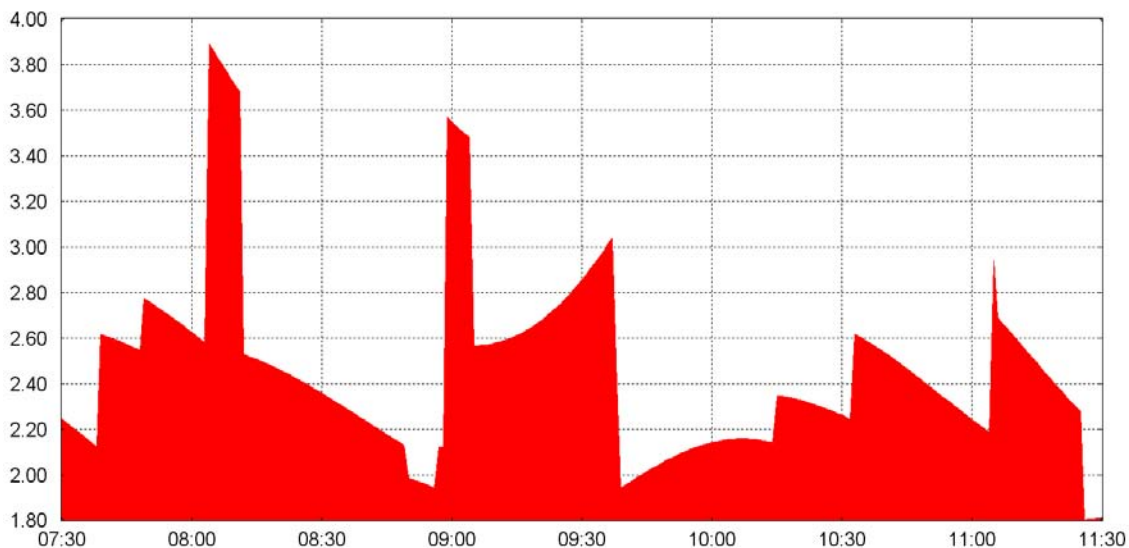
Además facilita una proyección del cielo en la que aparecen los obstáculos y los satélites visibles y sus trayectorias en ese mismo periodo.





Valores de DOP

Por último obtenemos el valor del DOP durante el periodo de observación:



Los gráficos reflejados en este apartado son los correspondientes a la fecha y periodo en que realizamos las medidas de las posiciones de las luminarias que se recogen en los siguientes apartados. Para que fueran comparables con los obtenidos en el hito, tomamos las medidas dentro de ese horario, parando de 8:00 a 8:15 y de 8:55 a 9:45. Así nos aseguramos de que el DOP fuera, teóricamente, inferior a 3 durante toda la toma de datos, igual que en la azotea.

6. ¿GOOGLE EARTH ES DE FIAR?

Hasta ahora hemos decidido qué receptores vamos a emplear y hemos escogido un momento adecuado para la observación. Pero, cuando obtengamos las coordenadas de una luminaria, ¿cómo evaluamos la bondad de esa medida? Necesitamos obtener de otra fuente unas coordenadas de las que, además, conozcamos su precisión.

La opción más “profesional” es emplear ortofotos georreferenciadas. Actualmente se pueden consultar en Internet, ya sea en el IDEE [2], el IGN [3] o en el servicio cartográfico de cada comunidad autónoma. Nosotros hemos empleado las ortofotos GSD 10cm de 2007 que facilita *GeoMadrid* [4].

Cuando se encargan las ortofotos para una escala 1:1000 (10cm), se suele exigir en su pliego de condiciones un error menor de 40cm en el terreno, de forma que podemos suponer que ésa es la precisión. Se debe ser un poco cuidadoso: los 40cm máximos de error no se aseguran en los edificios, sino a nivel del suelo, de forma que no conviene emplear referencias en fachadas o tejados, sino en el terreno.

Otro problema es que la consulta es sencilla, pero no tanto la obtención de la ortofoto georreferenciada y su manejo posterior. Entramos en un campo que requiere software especializado (aunque existe gratuito) cuyo manejo no es ni fácil, ni amigable, ni intuitivo.

Claro que, si nos movemos motivados por la facilidad, nada más sencillo que Google Earth. Y, exceptuando el GPS TomTom, del resto de los receptores se puede obtener de una u otra forma y con relativamente poco esfuerzo un archivo de salida klm, que se abre directamente en Google Earth. Ahora bien ¿con qué precisión trabaja? Aparentemente, con dos décimas en los segundos, lo que equivale a unos 40cm. Pero, por desgracia, no existe una respuesta única, ya que la precisión depende de la calidad de las fotos en la zona.

Podemos llegar a una solución de compromiso en la que, para cada zona de trabajo, sólo es necesario hacer una comprobación. Tomemos un punto del terreno en una ortofoto (si es necesario, se puede emplear la Calculadora UTM<>GEO [5]). Puede servirnos una señal de tráfico horizontal o una rejilla si trabajamos en una calle. Comparemos las coordenadas de ese punto con las obtenidas en Google Earth. No es un método exacto, pero nos dará una idea del orden de magnitud de la precisión.

Hemos realizado esta comparación en cinco puntos distintos de la zona de trabajo obteniéndose el mismo resultado. En nuestro caso, las ortofotos empleadas son 1:1000, así que podemos asumir que su precisión es del orden de 40cm. Tras comparar el extremo izquierdo de la señal viaria de la ortofoto con las coordenadas en Google Earth, la diferencia es inferior al medio metro. Como el peor de los casos es que se sumen los errores, podemos suponer que en nuestra zona de trabajo la precisión de Google Earth ronda el metro. Este valor es plenamente aceptable para nuestro objetivo.

Ortofoto: Latitud 40° 26' 7.80" Longitud 3° 43' 2.70"



Google Earth: Latitud 40° 26' 7.80" Longitud 3° 43' 2.72"



7. TOMA DE DATOS Y PROCESADO

Procedimiento

1. Planificación de la toma datos

En primer lugar revisamos la zona en la que se iban a realizar las mediciones en Google Earth. Esta primera toma de contacto, incluyó:

- Comprobación mediante ortofoto de la precisión aproximada de Google Earth.
- Comprobación de la visibilidad de las luminarias o elementos en Google Earth.

Si el objetivo real de las mediciones fuera el posicionamiento de las luminarias, debería haberse realizado previamente una estimación del DOP asociada a los obstáculos en cada calle. Sin embargo, queríamos comprobar cómo afectaba el entorno. Para ello escogimos un periodo del día en que el DOP era bueno a cielo abierto (inferior a 4 durante las mediciones). A posteriori, se realizó la asociación entre el DOP y la precisión de la medida.

2. Procedimiento en la toma datos

En el caso de navegadores que corrigen la posición basándose en su cartografía interna, se obtienen mejores precisiones si se encienden previamente y se circula un tiempo con ellos. De forma que con este tipo de GPS es mejor realizar medidas “en caliente”.

Estos GPS corrigen la posición del receptor recurriendo a correcciones de software:

- Corrección lateral: obliga a que la posición esté en una calle. Estos receptores admiten dos tipos de navegación: en vehículo o peatonal. Restringe las vías de cada tipo como posibles lugares en los que se encuentra el receptor. Si se navega con la opción vehículo, aprovecha también el sentido en que se circula para decidir, en caso de duda y calle de un solo sentido, si el coche está en una calle o en una paralela.
- Corrección longitudinal: el software puede corregir su posición cada vez que se realiza un giro, ya que sabe que sólo se puede hacer en una calle. Si se usa en el modo de navegación en coche, además sabe en qué calles no está permitido girar, con lo que acota aún mejor la posición aunque internamente la posición tenga 30m de error.

Es conveniente que el encendido del GPS se realice en una zona abierta que le permita un primer cálculo preciso de la posición.

Teniendo en cuenta la precisión con la que estamos trabajando, tampoco es necesario ser muy estrictos en la forma de situar la antena del GPS. En cualquier caso, no conviene tomar las medidas demasiado cerca del fuste para que éste no apantalle los satélites. Una distancia de 50 cm es más que suficiente para evitar este

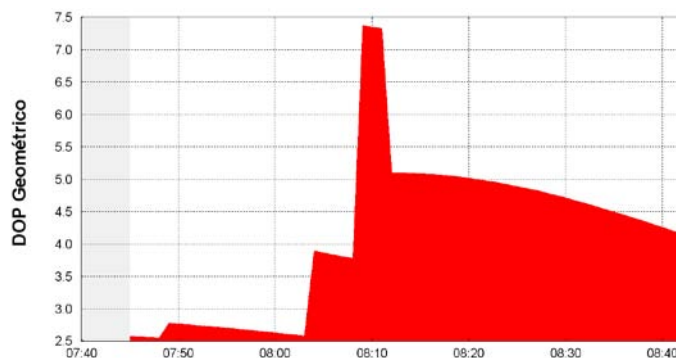
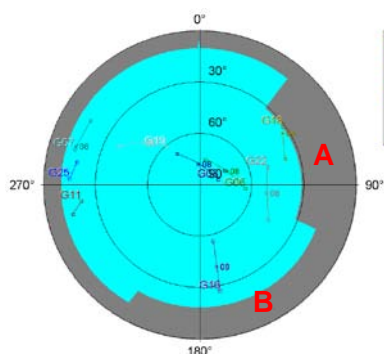
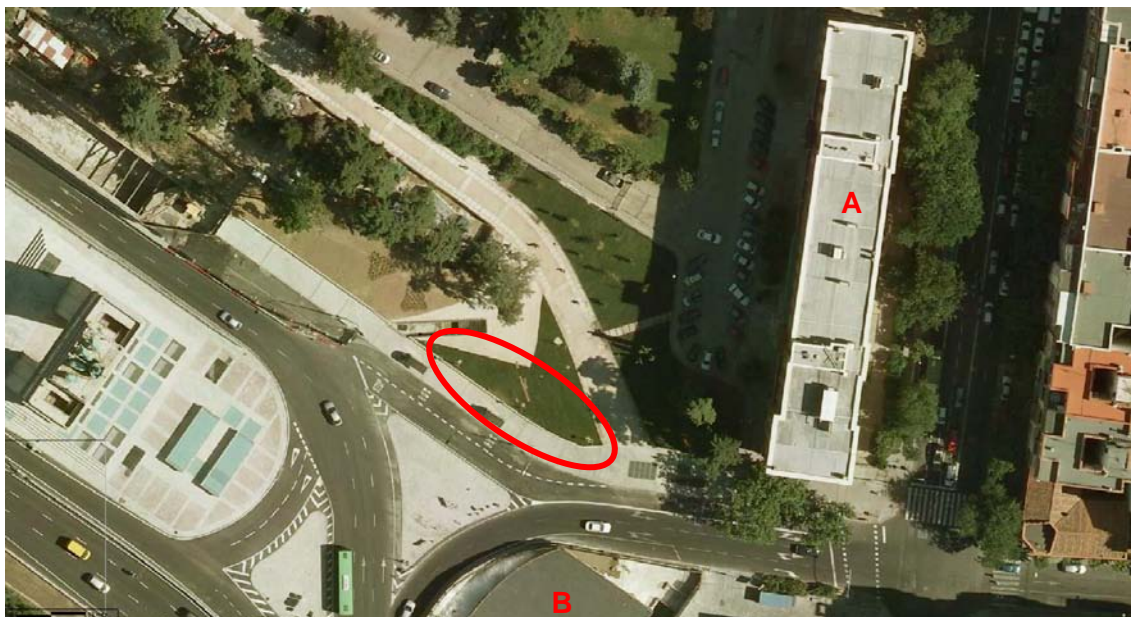
efecto. Teniendo en cuenta que la altitud del punto nos es indiferente, deberíamos elevar, dentro de lo posible, la antena GPS.

En todo caso, se debería crear una rutina. Por ejemplo, si estamos trabajando en calles, podemos medir a unos 50 cm del fuste y alejándonos de la fachada más cercana (si nos acercáramos se disminuye la franja de cielo a la que se tiene acceso).

3. Trabajo de gabinete

Dependerá completamente del software escogido para adquirir los datos y su traspaso al ordenador. En nuestro caso, los archivos de salida eran txt, klm, plt o gdb que convertimos a txt. Posteriormente fueron tratados con Excel para calcular valores medios, cuando ha sido posible, y la desviación típica de la muestra.

Plaza de la Moncloa



Como se puede ver en la ortofoto anterior, la zona en la que están ubicadas las tres farolas elegidas es muy abierta, con pocos edificios alrededor, de poca altura y situados a una distancia prudencial.

El edificio A tiene una altura de 31.5° y el B de 18.5° vistos desde las farolas. Con esos datos, incluimos los obstáculos en *Planning* para obtener la proyección del cielo y los valores del DOP geométricos. El intervalo de medición fue de 7:52 a 8:33. La distancia entre farolas consecutivas es de 14.1m.

Equipo	Latitud (N)	Desv. típica	Longitud (W)	Desv. típica	Dist.
<i>Farola PM1</i>	40° 26' 8.71"	-	3° 43' 8.51"	-	0m
TomTom	40° 26' 8.76"	-	3° 43' 8.40"	-	3.1m
Nokia	40° 26' 8.59"	0.01"	3° 43' 8.44"	0.02"	4.1m
Sirf	40° 26' 8.81"	0.08"	3° 43' 8.41"	0.04"	4.1m
Garmin	40° 26' 8.63"	0.07"	3° 43' 8.61"	0.12"	3.3m
<i>Farola PM2</i>	40° 26' 8.90"	-	3° 43' 9.06"	-	0m
TomTom	40° 26' 8.94"	-	3° 43' 8.46"	-	14.2m
Nokia	40° 26' 26.13"	0.05"	3° 43' 30.06"	0.06"	13.8m
Sirf	-	-	-	-	-
Garmin	40° 26' 8.83"	0.02"	3° 43' 9.18"	0.23"	3.5m
<i>Farola PM3</i>	40° 26' 9.16"	-	3° 43' 9.56"	-	0m
TomTom	40° 26' 9.60"	-	3° 43' 8.88"	-	20.9m
Nokia	40° 26' 9.00"	0.04"	3° 43' 9.47"	0.09"	5.5m
Sirf	40° 26' 9.07"	0.04"	3° 43' 9.45"	0.07"	3.8m
Garmin	40° 26' 9.12"	0.01"	3° 43' 9.52"	0.05"	1.6m

Nos gustaría comentar unos detalles sobre estas mediciones.

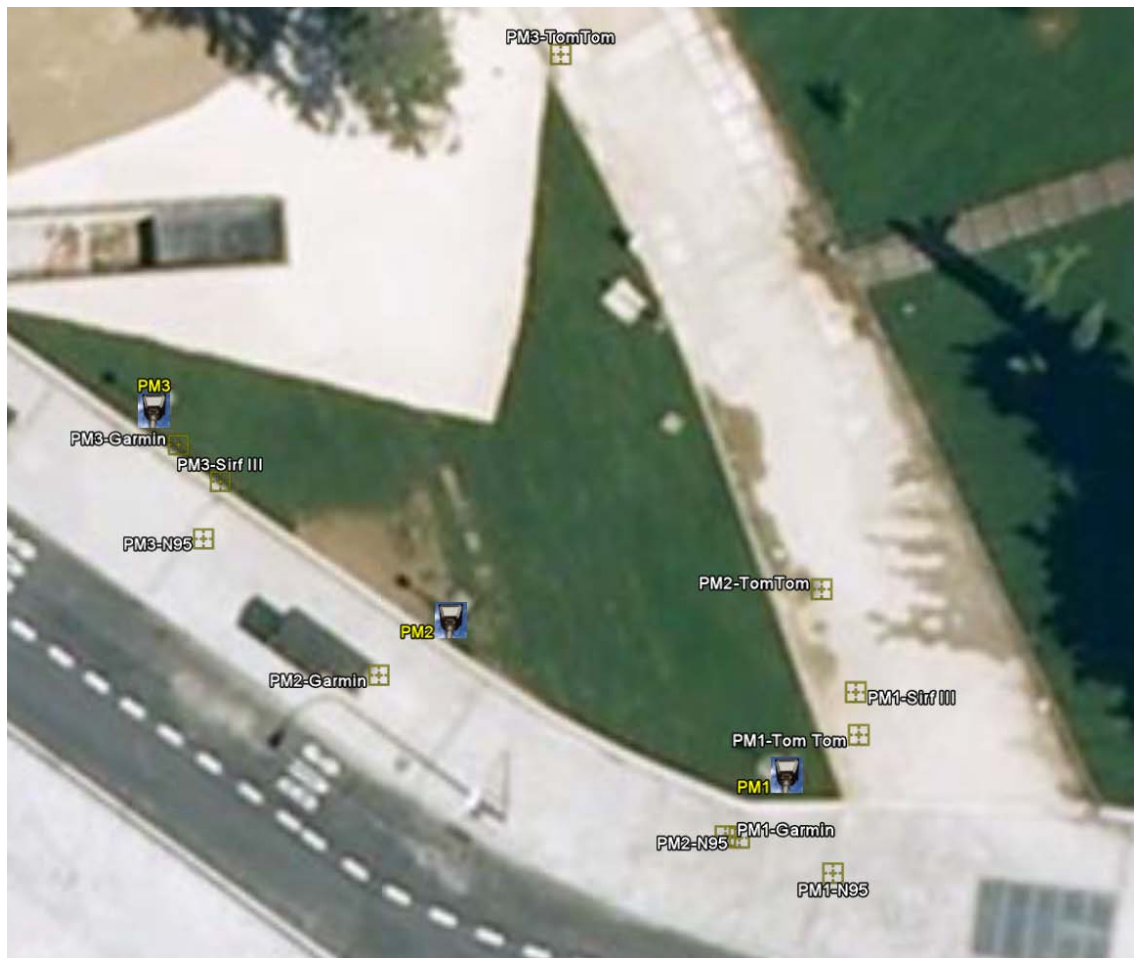
El receptor Garmin facilita resultados cercanos a su precisión máxima.

El GPS Sirf no registró las medidas de la segunda farola, desconocemos si por un problema de software o de mala recepción. En las otras dos farolas sus mediciones son altamente precisas, del mismo orden que el Garmin.

El error cometido por el GPS del teléfono Nokia en la segunda luminaria ronda los 15m. Este resultado es discordante con el obtenido en las otras dos, que también han resultado ser muy precisas.

El GPS TomTom había sido programado para uso peatonal. Obsérvese que los resultados están casi perfectamente alineados en el borde de la antigua vía del tranvía (de uso exclusivamente peatonal) y que en ningún momento se obtuvieron lecturas en la zona de césped, que su software debe considerar como no transitable.

En la imagen siguiente se aprecia la posición estimada de cada luminaria por los equipos y su posición real en Google Earth.

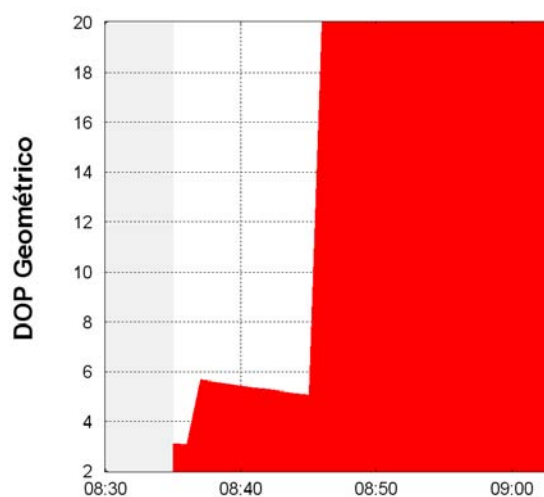
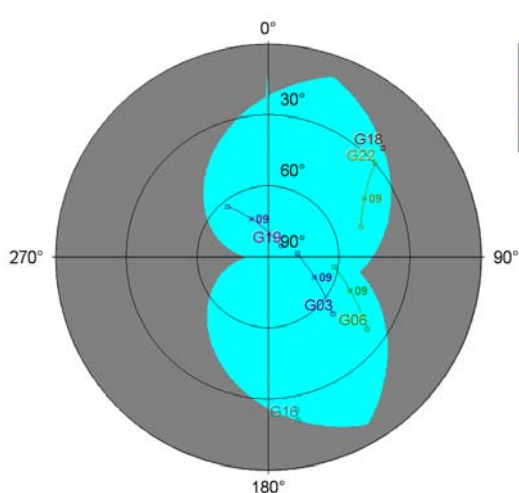


Isaac Peral

Hemos escogido esta calle debido a su incómoda topografía, aunque es una calle relativamente ancha. Como se puede apreciar en la siguiente ortofoto, la calle cambia de dirección justo en esta zona.

Para modelizar los obstáculos e incluirlos en *Planning*, se han medido las alturas de los obstáculos más altos y más bajos vistos desde la farola central. Para un azimut de 100° , la altura del obstáculo era $51^\circ 30'$. Para 150° , la altura es 8° . La fachada más cercana se encuentra en un azimut de 270° y su altura es 80° . Entre esos valores de azimut se ha interpolado linealmente.

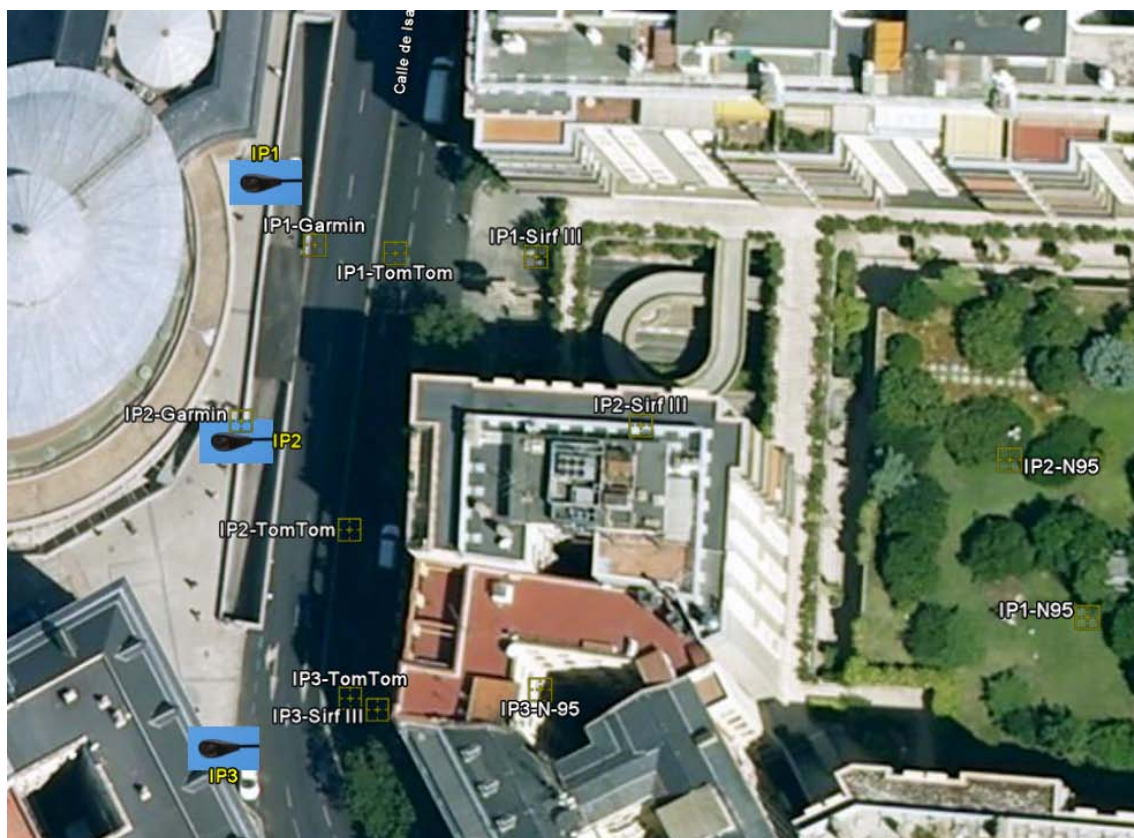
Se realizaron las medidas entre las 8:39 y las 8:56. La distancia entre farolas consecutivas ronda los 25m. Ahora bien, es una calle iluminada a ambos lados de la calle. La anchura de la calzada es de unos 20m, que es la distancia a tener en cuenta para poder distinguir luminarias situadas una frente a otra.



A la izquierda vemos la representación de los obstáculos. Es de destacar que un aumento lineal se representa como un arco de circunferencia, por si se deseara dibujar a mano los obstáculos. En el modelo de la izquierda, los satélites G22 y G0 están cerca de la frontera de visibilidad. Como se puede observar en el gráfico de la derecha, el valor del DOP se dispara a mitad de la observación. Es debido a que a las

8:45, aproximadamente, el número de satélites visibles basado en ese modelo de obstáculos baja a 4 (el mínimo teórico necesario).

Equipo	Latitud (N)	Desv. típica	Longitud (W)	Desv. típica	Dist.
<i>Farola IP1</i>	40° 26' 6.83"	-	3° 43' 6.43"	-	0m
TomTom	40° 26' 6.60"	-	3° 43' 5.94"	-	13.6m
Nokia	40° 26' 5.60"	0.52"	3° 43' 3.45"	1.93"	80m
Sirf	40° 26' 6.58"	0.14"	3° 43' 5.41"	0.43"	25.2m
Garmin	40° 26' 6.63"	0.05"	3° 43' 8.25"	0.01"	7.2m
<i>Farola IP2</i>	40° 26' 6.09"	-	3° 43' 6.56"	-	0m
TomTom	40° 26' 5.82"	-	3° 43' 6.12"	-	13.0m
Nokia	40° 26' 6.02"	0.15"	3° 43' 5.99"	0.05"	66.8m
Sirf	40° 26' 6.12"	0.29"	3° 43' 5.03"	0.20"	36.0m
Garmin	40° 26' 6.13"	0.04"	3° 43' 6.54"	0.08"	1.8m
<i>Farola IP3</i>	40° 26' 5.19"	-	3° 43' 6.62"	-	0m
TomTom	40° 26' 5.34"	-	3° 43' 6.12"	-	12.7m
Nokia	40° 26' 5.38"	0.09"	3° 43' 5.40"	0.28"	29.4m
Sirf	40° 26' 5.31"	0.12"	3° 43' 6.02"	0.11"	14.6m
Garmin	-	-	-	-	-



En la medición, el receptor Garmin a las 8:51 avisó de la pérdida de satélites y no fue posible medir la posición de la última farola. Recordemos que el modelo de obstáculos que se emplea en *Planning* no es exacto, ya que se debe simplificar la realidad para modelizarla. Sin embargo, preveía una mala precisión a partir de las 8:45 y, posiblemente, el número de satélites visible disminuyó a 3 en vez de a 4, lo que impidió la última lectura. Los otros receptores no cuentan con este sistema de aviso y realizaron las medidas indicadas, con errores inadmisibles.

Fernández de los Ríos, Hilarión Eslava, Fernando el Católico y Donoso Cortés

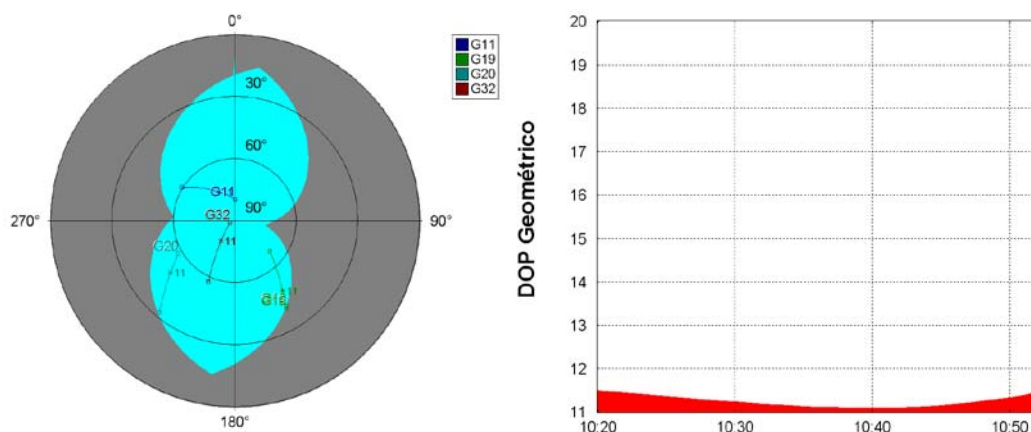


Las cuatro calles se caracterizan por ser relativamente estrechas (un carril y aparcamiento a ambos lados o dos carriles y aparcamiento a un solo lado). Hablamos de calzadas del orden de 11m, que tienen iluminación en ambas aceras.

Otra característica común es que pertenecen a una zona urbanizada en cuadrícula, lo que permite una caracterización de obstáculos sencilla. Se toma una franja de cielo en la dirección de la calle que disminuya linealmente desde 75°-85° en

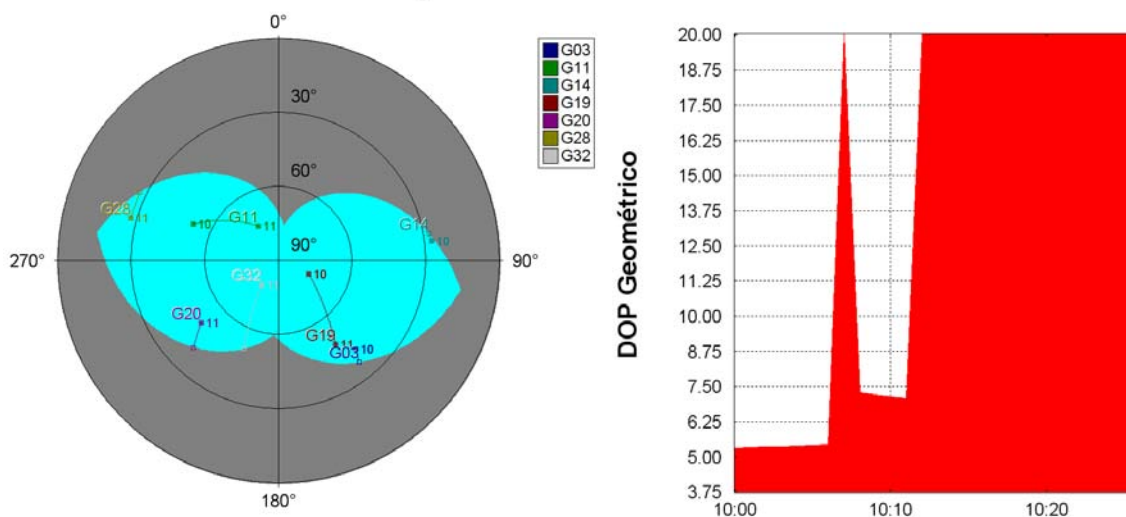
la acera de la farola y 55° - 65° en la de enfrente hasta unos 15° - 25° en los dos sentidos de la calle.

En la calle Hilarión Eslava realizamos las medidas de 10:22 a 10:44. Empleando el modelo de obstáculos descrito, se obtuvieron los siguientes gráficos:

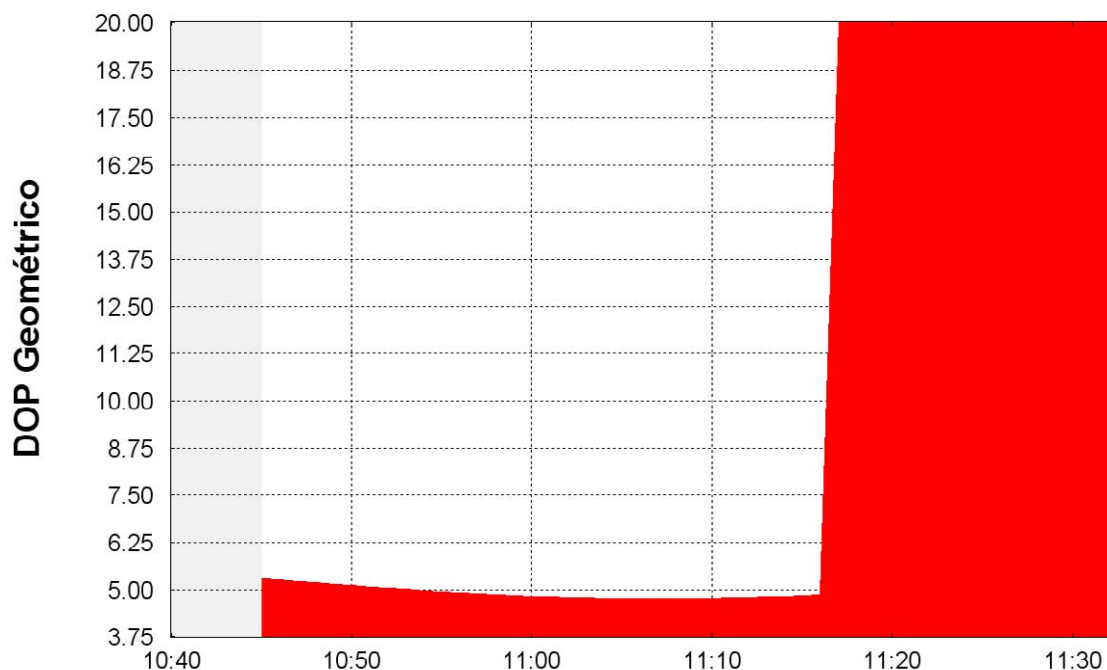


Puede observarse que el valor de DOP previsto puede considerarse como no válido para realizar mediciones durante todo el intervalo.

En Fernández de los Ríos se obtuvo la siguiente previsión para la hora de medida (10:07 a 10:18), que incluye periodos de DOP no válido:



Y con ese mismo modelo de obstáculos, ya que son paralelas a la anterior, para Fernando el Católico (10:47 a 11:04) y Donoso Cortés (11:11 a 11:22), el valor del DOP previsto fue:



La previsión se cumplió con cinco minutos de retraso, ya que a las 11:23 cuando medíamos la posición de DC1, el GPS Garmin dejó de medir por pérdida de satélites. Desechamos las medidas posteriores tomadas con todos los receptores.

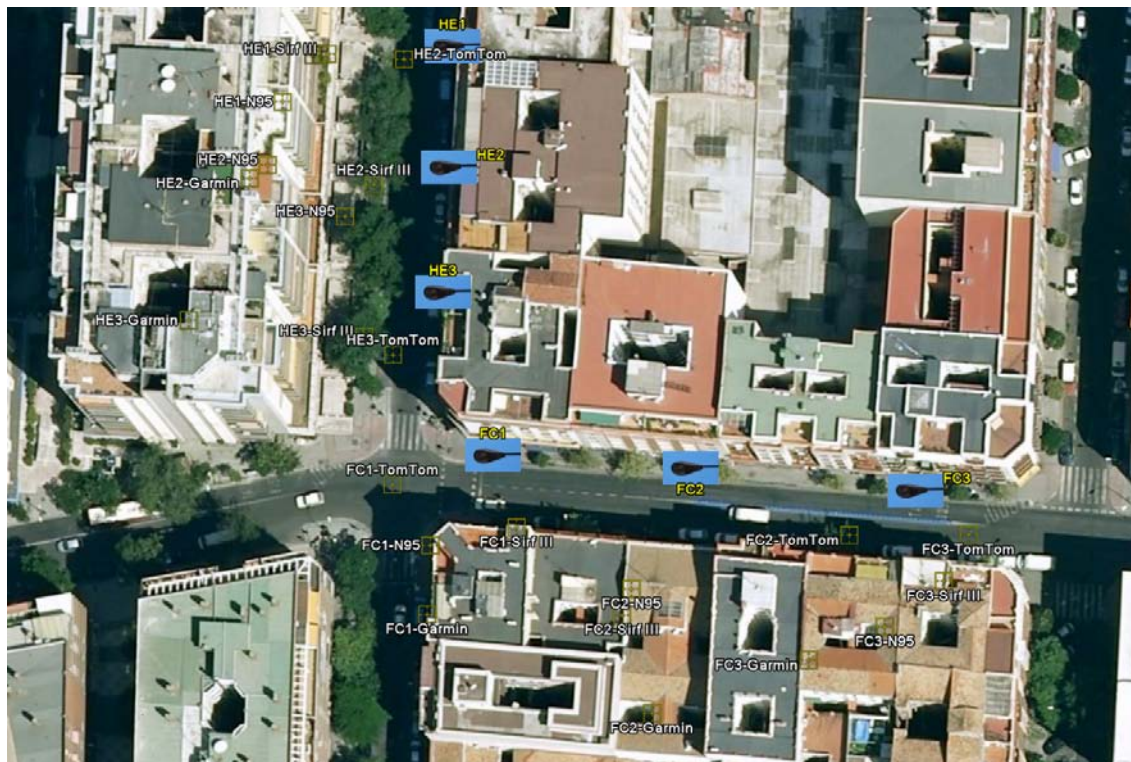
Equipo	Latitud (N)	Desv. típica	Longitud (W)	Desv. típica	Dist.
<i>Farola FR1</i>	40° 26' 7.99"	-	3° 43' 3.70"	-	0m
TomTom	40° 26' 7.80"	-	3° 43' 3.66"	-	5.9m
Nokia	40° 26' 8.37"	0.34"	3° 43' 3.66"	0.19"	11.9m
Sirf	40° 26' 8.05"	0.23"	3° 43' 3.43"	0.53"	6.6m
Garmin	40° 26' 7.93"	0.09"	3° 43' 3.08'	0.04"	14.9m
<i>Farola FR2</i>	40° 26' 7.95"	-	3° 43' 2.26"	-	0m
TomTom	40° 26' 7.68"	-	3° 43' 2.04"	-	9.8m
Nokia	40° 26' 7.96"	0.11"	3° 43' 2.03"	0.08"	5.4m
Sirf	40° 26' 8.38"	0.36"	3° 43' 2.62"	0.14"	15.9m
Garmin	40° 26' 7.82"	0.1"	3° 43' 1.95"	0.27"	8.3m
<i>Farola HE1</i>	40° 26' 6.18"	-	3° 42' 59.83"	-	0m
TomTom	40° 26' 6.12"	-	3° 43' 0.12"	-	7.2m
Nokia	40° 26' 5.92"	0.06"	3° 43' 0.86"	0.14"	25.7m
Sirf	40° 26' 6.15"	0.53"	3° 43' 0.59"	0.42"	18.00m
Garmin	40° 26' 6.14"	0.05"	3° 43' 0.67'	0.30"	20m
<i>Farola HE2</i>	40° 26' 5.61"	-	3° 42' 59.84"	-	0m
TomTom	40° 26' 6.12"	-	3° 43' 0.12"	-	16.8m
Nokia	40° 26' 5.63"	0.08"	3° 43' 0.95"	0.11"	25.9m
Sirf	40° 26' 5.53"	0.15"	3° 43' 0.30"	0.28"	11.0m
Garmin	40° 26' 5.57"	0.19"	3° 43' 1.06"	0.18"	28.7m

Equipo	Latitud (N)	Desv. típica	Longitud (W)	Desv. típica	Dist.
<i>Farola HE3</i>	40° 26' 5.03"	-	3° 42' 59.88"	-	0m
TomTom	40° 26' 4.74"	-	3° 43' 0.18"	-	11.4m
Nokia	40° 26' 5.38"	0.20"	3° 43' 0.47"	0.36"	17.8m
Sirf	40° 26' 4.83"	0.57"	3° 43' 0.35"	0.47"	12.8m
Garmin	40° 26' 4.91"	0.05"	3° 43' 1.44"	0.35"	37.0m
<i>Farola FC1</i>	40° 26' 4.27"	-	3° 42' 59.57"	-	0m
TomTom	40° 26' 4.14"	-	3° 43' 0.18"	-	14.9m
Nokia	40° 26' 3.86"	0.13"	3° 42' 59.95"	0.14"	15.5m
Sirf	40° 26' 3.94"	0.20"	3° 42' 59.43"	0.36"	10.7m
Garmin	40° 26' 3.54"	0.15'	3° 42' 59.98"	0.13"	24.5m
<i>Farola FC2</i>	40° 26' 4.21"	-	3° 42' 58.38"	-	0m
TomTom	40° 26' 3.9"	-	3° 42' 57.42"	-	24.3m
Nokia	40° 26' 3.65"	0.17"	3° 42' 58.74"	0.20"	19.3m
Sirf	40° 26' 4.04"	0.23"	3° 42' 58.80"	0.36"	23.2m
Garmin	40° 26' 3.08"	0.05"	3° 42' 58.62"	0.06"	35.5m
<i>Farola FC3</i>	40° 26' 4.11"	-	3° 42' 57.02"	-	0m
TomTom	40° 26' 3.90"	-	3° 42' 56.70"	-	9.8m
Nokia	40° 26' 3.48"	0.11"	3° 42' 57.21"	0.28"	19.9m
Sirf	40° 26' 3.69"	0.41"	3° 42' 56.85"	0.38"	13.4m
Garmin	40° 26' 3.32"	0.10"	3° 42' 57.67"	0.11"	28.4m
<i>Farola DC1</i>	40° 26' 11.78"	-	3° 42' 58.38"	-	0m
TomTom	40° 26' 11.34"	-	3° 42' 59.82"	-	36.6m
Nokia	40° 26' 12.02"	0.31"	3° 42' 59.13"	0.31"	19.7m
Sirf	40° 26' 11.61"	0.17"	3° 42' 58.88"	0.37"	13.1m
Garmin	40° 26' 11.15"	0.07"	3° 42' 58.49'	0.11"	19.46m
<i>Farola DC2</i>	40° 26' 11.71"	-	3° 42' 56.77"	-	0m
TomTom	40° 26' 11.46"	-	3° 42' 56.58"	-	8.7m
Nokia	40° 26' 11.36"	0.48"	3° 42' 56.72"	0.42"	10.8m
Sirf	40° 26' 10.95"	0.55"	3° 42' 56.10"	0.50"	28.1m
Garmin	40° 26' 11.63"	0.10"	3° 43' 56.80"	0.02"	2.4m

Fernández de los Ríos



Hilarión Eslava y Fernando el Católico



Donoso Cortés



La distancia entre una farola y la siguiente es del orden de 18m. Entre farolas a distinto lado de la calle, la distancia es de unos 15m.

8. CONCLUSIONES

En primer lugar, analicemos la planificación. A pesar de que nos aseguramos de obtener el almanaque el día anterior a la observación para asegurar que estuviera actualizado, se han apreciado desfases de entre 5 y 10 minutos entre el momento en que el programa *Planning* preveía una falta de satélites y el momento en que el receptor Garmin avisaba de ese hecho. Se debe tener en cuenta para no ajustar demasiado los periodos de medición cuando se planifique una toma de datos.

Por otro lado, a pesar de que los momentos del día escogidos para realizar las mediciones el DOP era menor de 4, en el momento en que se incluyen los obstáculos los aumentos de DOP son imprevisibles. La toma de medidas debe ser planificada teniendo en cuenta cada conjunto dirección – anchura de calle para escoger el momento adecuado.

Hemos comprobado que las precisiones del GPS Garmin son aceptables a cielo abierto, como ocurría en la azotea o en la plaza de la Moncloa. En ese tipo de zonas el GPS de peor comportamiento es el TomTom. En el momento en el que disminuye la franja de cielo a la que se tiene acceso, la precisión cae en picado para todos los receptores, incluyendo el receptor EGNOS que pierde la señal del satélite geostacionario. Es posible que en estas zonas influya no sólo el menor número de satélites visibles y una peor configuración geométrica sino que se agudice el efecto multisenda.

Para que el posicionamiento sea realmente útil su precisión debe ser menor que la mitad de la distancia entre farolas adyacentes. Este valor es de unos 15m, de forma que son necesarias precisiones superiores a 7.5m, pero sería mejor si son del orden de 5m. Aunque el número de medidas es insuficiente para poder realizar una evaluación estadística, es suficiente para estimar la bondad de los equipos:

TomTom	TomTom	Nokia	Sirf	Garmin
Error < 5m	1/16	1/16	2/16	5/16
	6,25%	6,25%	12,50%	31,25%
Error < 7.5m	5/16	3/16	3/16	6/16
	31,25%	18,75%	18,75%	37,50%

Como podemos ver, la precisión es claramente insuficiente en la inmensa mayoría de las medidas.

Además de la precisión, sería interesante contar con receptores que avisen cuando una medida no sea fiable. El GPS Garmin avisa al usuario en dos casos: si no hay suficientes satélites visibles o si se pierde la señal EGNOS. Se supone que también estima el error cometido en la medida, pero hemos podido comprobar que el error estimado no tiene mucho que ver con el cometido realmente.

La conclusión final es que los GPS no profesionales carecen de la precisión necesaria para esta aplicación. Debería considerarse la opción de estudiar otro tipo de

receptores que procesen señales GLONASS y GALILEO además de EGNOS. Al ser capaces de interpretar las señales de las tres constelaciones, el número de satélites disponibles prácticamente se duplica. Con ello se aumentará, lógicamente, el número de satélites visibles. Pero también aumentan las posibilidades de mejorar la configuración geométrica que se observa desde cada punto. Aunque teniendo en cuenta que los obstáculos en las calles representan una zona oscura del 40% al 50%, existe poco “espacio” disponible para mejorar la geometría.

Un caso en que se podría utilizar un navegador EGNOS similar al modelo Garmin utilizado, sería en el caso de inventariar una zona de nueva construcción. En la actualidad se construyen y se instalan las infraestructuras de servicios, que incluyen el alumbrado público, antes de edificar. Esto permitiría realizar el inventario en condiciones óptimas de visibilidad, como se puede apreciar en las dos imágenes siguientes [6].



Otro caso en el que, por el contrario, estaría prácticamente descartado el uso del GPS es en el inventario de luminarias que estén fijadas a una fachada, sistema que se emplea en calles estrechas. Por un lado, en una calle cuya calzada sea inferior a los 8m, la franja de cielo accesible es escasa. Por otro, dado que no nos importa la altitud, el lugar lógico para realizar la medición es justo debajo de la farola, pero no se debe situar una antena GPS cerca de una pared. La conclusión es que en estos casos no será posible conseguir el posicionamiento vía GPS con una precisión aceptable.

REFERENCIAS

[1] Trimble Planning Software:
http://www.trimble.com/planningsoftware_ts.asp

Download the Trimble Planning Software.



Trimble GPS Data Resources: Your source for the latest ephemeris files, almanacs and other data to help you get the most from your system.

[2] Infraestructura de Datos Espaciales de España: <http://www.idee.es/>

La Infraestructura de Datos Espaciales de España (IDEE) tiene como objetivo el integrar a través de Internet los datos, metadatos, servicios e información de tipo geográfico que se producen en España, a nivel nacional, regional y local, facilitando a todos los usuarios potenciales la localización, identificación, selección y acceso a tales recursos.

[3] Instituto Geográfico Nacional: <http://www.ign.es/iberpix/visoriberpix/visorign.html>

La aplicación "VISOR SENCILLO DEL IGN" pretende ser una herramienta que facilite la ubicación de diferentes espacios a lo largo de todo el territorio nacional. Incluyendo una imagen inicial en la que aparezca toda España (Incluidas las Islas Canarias) además del norte de África, Portugal y sur de Francia. En el visor se han incluido cuatro grupos principales de capas: Mapas (1:1.000.000, 1:200.000 y 1:25.000), Ocupación del suelo (Corine 3 y SIOSE), MDT (1:200.000 y 1:25.000) e Imagen (Landsat 7, SPOT 5 y PNOA)

[4] Proyecto GeoMadrid: <http://www.geomadrid.com>

GeoMadrid es un proyecto de la Comunidad de Madrid, desarrollado a través de la empresa pública Tres Cantos, S.A., adscrita a la Consejería de Transportes e Infraestructuras, que tiene por objeto la producción y mantenimiento continuo de la información geográfica y territorial de la Comunidad de Madrid sobre la que se ha de integrar cuanta información georreferenciada sea elaborada por los departamentos de la Comunidad y los agentes operadores del territorio de la región.

[5] Calculadora UTM<>GEO: <http://www.cartesia.org/articulo276.html>

Aplicación realizada por Eduardo Núñez Maderal, Ingeniero en Geodesia y Cartografía. El programa de paso de coordenadas Geográficas a U.T.M. y viceversa, se basa en las ecuaciones de transformación deducidas para el desarrollo transversal cilíndrico terrestre de Mercator, tomando como referencia un elipsoide de revolución y dividiendo la Tierra en 60 husos iguales de 6 grados cada uno.

[6] Ambas imágenes obtenidas de: <http://www.espartalesnorte.info/>

ANEXO: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS FACILITADAS POR LOS FABRICANTES

TomTom XL

- Pantalla táctil TFT LCD de 4.3 pulgadas.
Formato 16:9. 480 x 272 píxeles. 64.000 colores
- Dimensiones: 118 x 83 x 25 mm
- Peso: 186 gramos
- CPU de 400 MHz, con 64 Mb de Ram.
- Memoria interna de hasta 512 Mb.
- Electrónica GPS de alto rendimiento.
- Mapas pre-instalados
- Compatibilidades: Windows y Mac OS X 10.3
- Conexiones: mini-USB, RDS-TMC

- Batería de litio (más de 3 horas de autonomía)
- Volumen relacionado con la velocidad del coche
- Sistema avanzado de audio
- Antena interior
- EasyPort™
- QuickGPSfix™
- Modo automático día / noche
- Password
- Compatible con TomTom HOME

Supratech Ulises

- Pantalla: TFT táctil de 3.5 pulgadas. Color
- Dimensiones: 95 x 79 x 15-25 mm
- Peso: 240 gr.
- Procesador: Centrality Atlas IIth Dual-Core
 - CPU A2 300 MHz (más co-procesador 200MHz)
 - Chip GPS integrado
 - Tecnología Centrality GPS-V3TM
- Cartografía: TeleAtlas de Iberia en 2D / 3D
- Sistema operativo: Win CE Net 5.0
- Memoria interna: 64 Mb SDRAM interna y 32 Mb Flash RAM interna
- Entradas / Salidas:
 - Slot de expansión de tarjetas SD/MMC
 - Puerto USB
 - Conector de auriculares
- Bluetooth: Función manos libres para teléfono móvil
- Batería: Interna recargable, de Ion-Litio 1100 mAh
- Altavoz: Integrado, de 2W
- Antena: Interna de alta sensibilidad con 22 canales
- Tiempos de arranque:
 - En frío (Cold Start): 41 seg.
 - En standby: ≤ 35 seg.
 - En "caliente" (Warm start): ≤ 1 seg.

Nokia N95

- Pantalla TFT de 16 millones de colores. Resolución 240 x 320 píxeles.
- Receptor GPS integrado
- Navegador GPS integrado
- Antena interna bajo el teclado numérico
- Memoria interna de 160 Mb. Ampliación de memoria tarjeta miniSD (2 GB)
- Cámara digital de 5 megapíxeles, 2592x1944 píxeles, autofocus, video (VGA).
- Conectividad de banda ancha móvil HSDPA.
 - Bandas: GSM 900 / GSM 1800 / GSM 1900 / HSDPA
- Wap/Gprs 2.0 / XHTML/Clase 10
- Modem integrado de hasta 3,6 Mbps, Infrarrojos, Bluetooth, WiFi, Puerto USB 2.0.

- Tapa deslizante de doble sentido. El teclado numérico aparece en un extremo del dispositivo mientras que las teclas dedicadas multimedia se encuentran desplazando la tapa en sentido contrario, convirtiéndose en una pantalla totalmente panorámica.

Sirf III

- GPS para PDA, PC o móvil vía bluetooth
- 20 canales paralelos.
- Compatibilidad con protocolos NMEA y SIRF.
- Batería integrada de litio de 1.100 mA. Duración de unas 10 horas.
- Chipset SirfStar III.
- Tiempo de actualización de la señal: 100 ms.
- Posibilidad de antena exterior.
- Arranque en caliente (Hot Start): 1s.
- Arranque en "templado" (Warm Start): 38s.
- Arranque en frío (Cold Start): 42s.
- Consumo máximo: 100 mA

Garmin GPSmap 276C

- Pantalla TFT de 3,8" a color de alta resolución, 320x480 pixeles, 256 colores, con visión incluso a pleno sol.
- Receptor GPS de 12 canales paralelos, que admite WAAS/EGNOS.
- Tiempos de adquisición:
 - Caliente: 15s
 - Frío: 45 s
 - Localización automática: 5 min.
- Velocidad de actualización, una por segundo forma continua.
- Precisión del GPS < 15 m, RSM (Root-Mean-Squared) 95%.
- Precisión del DGPS (USCG - EEUU) 3-5 m; 95%.
- Precisión del DGPS (WASS) 3 m.
- Precisión de velocidad 0,1 nudo (0,1852 km/h).
- Posibilidad de utilizar antena exterior o integrada en la carcasa.
- Dispone de diversas funciones exclusivas para uso en vehículo. Destaca la capacidad de cálculo e indicación de ruta giro a giro visuales y por voz.
- Alarmas audibles de voltaje, fondeo, llegada, fuera de rumbo, reloj, etc.
- Datos configurables en tamaño para una mejor visualización.
- Batería litio interna, recargable, con una duración de hasta 10 horas.
- Caja estanca, waterproof, cumple la normativa IPX7 (sumergible a 1 m. durante 30 minutos).